

E.F. Repina¹, A.R. Gimadiev², V.A. Myshkin¹, A.B. Bakirov¹, G.V. Timasheva¹, N.Y. Khusnutdinova¹, D.A. Smolyankin¹

ANTI-HYPOXIC ACTIVITY OF THE NEW COMPLEX COMPOUND OF OXYMETHYLURACIL WITH SODIUM SUCCINATE

¹Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, 450106, Ufa, Russian Federation

²Ufa Institute of Chemistry, Russian Academy of Sciences, 450054, Ufa, Russian Federation

On the models of acute hemic and acute histotoxic hypoxia, the activity of a new complex compound of 5-hydroxy-6-methyluracil with sodium succinate was studied. It was found out that the compound under investigation in respects to its activity is comparable or superior to reference preparations-reamberin, sodium succinate and oxy-methyluracil, and has low toxicity at intragastric and intraperitoneal administration to mice. Based on the results of the studies, the patent of the Russian Federation was awarded.

Keywords: *hypoxia, complex compound of 5-hydroxy-6-methyluracil with sodium succinate, anti-hypoxic activity, toxicity.*

Переработанный материал поступил в редакцию 15.09.2016 г.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ

УДК 57.017:597:571.27

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВРОЖДЕННОГО ИММУНИТЕТА И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ У ЛЕЩА АВРАМИС ВРАМА ОЗЕРА НЕРО И РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Н.И. Силкина,
В.Р. Микряков*

ФГБУН Институт биологии
внутренних вод им.
И.Д. Папанина РАН,
152742, Ярославская
обл., Некоузский р-он.,
п. Борок, Российская
Федерация

Представлены результаты сравнительного анализа некоторых иммуно-биохимических показателей сыворотки крови леща, обитающего в озере Неро и Рыбинском водохранилище. Исследованы антимикробные свойства, доля иммунодефицитных особей, уровень общих липидов и их фракционный состав, содержание малонового диальдегида и антиокислительная активность. Рыбы из экологически неблагополучных районов отличались от особей из относительно чистой акватории низким иммунным статусом, изменением липидного обмена и усилением свободнорадикального окисления.

Ключевые слова: *оз. Неро, Рыбинское водохранилище, лещ, иммунитет, липиды, окислительные процессы.*

Силкина Нина Иосифовна (Silkina Nina Iosifovna), к.б.н., с.н.с. лаборатории иммунологии ФГБУН Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он., п. Борок, sni@ibiw.yaroslavl.ru

Микряков Вениамин Романович (Mikryakov Veniamin Romanovich), профессор, д.б.н., гл.н.с. лаборатории иммунологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-он., п. Борок, mvr@ibiw.yaroslavl.ru

Введение. В Ярославской области расположены 2 больших водоема – озеро Неро и Рыбинское водохранилище. Они различаются площадью водного зеркала, гидрохимическим режимом, био-разнообразием, составом ихтиофауны, спектром кормовой базы для рыб, степенью загрязнения вод и др.

Оз. Неро – самое крупное в Ярославской области. Средняя глубина озера составляет 1.6 м, площадь зеркала – 57.8 км², объем водной массы – 90·10⁶ м³. Северная часть подвергается сильному антропогенному загрязнению бытовыми и промышленными стоками г. Ростова, п. Поречье-Рыбного и за счет промышленной добычи сапропеля [1].

Рыбинское водохранилище – одно из крупнейших водоемов озерного типа с площадью зеркала 4550 км², (полный объем - 25,4 км³, полезный объем - 16,7 куб. км). Постоянно подвергается загрязнению сточными водами промышленных предприятий г. Череповца (АО «Северсталь», «Азот» и др.). В состав сточных вод входят разные токсичные для гидробионтов соединения: полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, сложные эфиры, кислоты, соли тяжелых металлов, соединения азота, фенолы и др. [2-4].

Рыбы, обитающие в загрязненной зоне, отличаются от таковых из чистых акваторий низкими темпами роста и выживания, высокими величинами зараженности паразитами и естественной смертности [5,6]. Все это свидетельствует о глубоких нарушениях, происходящих в функционировании иммунологических и биохимических механизмов гомеостаза, обеспечивающих оптимальный рост, развитие и индивидуальную целостность организма в онтогенезе, а также адаптацию рыб к неблагоприятным факторам среды [4,7-9].

Известно, что в организме рыб под влиянием токсических факторов происходит повреждение структуры и функции клеточных и гуморальных факторов иммунитета и дестабилизация биохимического гомеостаза за счет активации процессов окислительного стресса [9-13]. Согласно существующим представлениям, окислительный стресс, индуцируемый ксенобиотиками, – одна из основных причин преждевременного старения, истощения организма и гибели рыб [9,10,14]. Сведений о характере влияния многокомпонентного антропогенного загрязнения на состояние иммунной и прооксидантно-антиоксидантной системы у различных пресноводных рыб, обитающих в экосистемах, испытывающих интенсивный антропогенный пресс, в доступной литературе немного. Между тем такие данные необходимы при мониторинговых исследованиях, а также для анализа последствий поврежда-

ющего действия антропогенного загрязнения на механизмы иммунологической и биохимической адаптации рыб.

Цель работы – сравнительная характеристика показателей неспецифического гуморального иммунитета и липидного обмена леща оз. Неро и Рыбинского водохранилища.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования послужили половозрелые самки леща *Abramis brama* в возрасте 7+ – 8+. Рыб отлавливали в сентябре 1999 г. в акватории оз. Неро и на двух участках Рыбинского водохранилища (Волжский плес – условно чистый участок и на станции д. Торово – загрязненная зона недалеко от г. Череповца).

В сыворотке крови определяли бактериостатическую активность (БАСК), долю иммунодефицитных особей (ИМД), уровень общих липидов (ОЛ), интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и состояние системы антиоксидантной защиты (АЗ).

БАСК выявляли нефелометрическим методом в модификации В.Р. Микрякова [15]. В качестве тест-микробов использовали суточную культуру *Aeromonas hydrophila*. В зависимости от уровня БАСК отбирали иммунодефицитных особей (ИМД), сыворотка крови которых не угнетала развитие тест-микробов. Содержание общих липидов (ОЛ) устанавливали стандартным гравиметрическим способом [16]. Качественный состав общих липидов выявляли общепринятыми методами восходящей тонкослойной хроматографии на пластинках «Silufol» [17]. Об интенсивности ПОЛ судили по содержанию ТБК-реактивных продуктов перекисления липидов (малонового диальдегида - МДА) [18]. Анализ состояния АЗ оценивали по уровню общей антиоксидантной активности по кинетике окисления восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха в присутствии тканевых экстрактов (константа окисления субстрата - КОС) [19]. Данный параметр характеризует содержание антиоксидантных структур в исследуемой ткани. Результаты исследований подвергали статистической обработке при помощи стандартного пакета программ (приложение Statistica 6.0) с использованием t-теста, $p < 0.05$.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных данных показал, что лещи, отловленные в оз. Неро и на станции Торово, где высокий уровень антропогенной нагрузки, по исследуемым показателям достоверно отличалась от рыб из Волжского плеса (табл.).

У рыб, отловленных в оз. Неро и на станции Торово, по сравнению с таковыми Волжского плеса, установлены низкие показатели БАСК, отражающие функциональное состояние гуморальных факторов естественного иммунитета: системы

Иммуно-биохимические показатели

| Показатели | Рыбинское водохранилище | | оз. Неро |
|---|-------------------------|------------|------------|
| | Волжский плес | ст. Торово | |
| Число рыб | 22 | 16 | 25 |
| Бактериостатическая активность сыворотки крови, % | 18.27±1.9 | 7.35±1.5* | 11.33±1.3* |
| иммунодефицитные особи, % | 10 | 57* | 25 |
| Общие липиды, мг% | 1150±70 | 1420±55* | 1355±30* |
| Фракции липидов, % суммы: | | | |
| Фосфолипиды | | | |
| Холестерин | 15.28±0.3 | 19.21±0.3* | 18.62±0.4* |
| Неэстерифицированные жирные кислоты | 10.24±0.2 | 13.33±0.2* | 13.12±0.2* |
| Триацилглицерины | 25.94±0.4 | 22.18±0.4* | 23.81±0.4* |
| Эфиры стериннов | 17.24±0.3 | 17.39±0.4 | 16.43±0.4 |
| Углеводороды | 6.03±0.2 | 5.26±0.2 | 4.85±0.1 |
| Малоновый диальдегид, нмоль/л | 3.22±0.41 | 3.98±0.33* | 4.34±0.27* |
| Константа окисления субстрата, л/мл х мин | 1.02±0.14 | 1.67±0.22* | 1.65±0.31* |

Примечание: * - достоверно относительно ст. Волжский плес при $p \leq 0,05$.

комплемента, лизоцима, *b*-лизина, пропердина и др. [15] и высокая доля ИМД особей. Достоверно низкий уровень БАСК и высокая доля ИМД особей, выявленные в выборке рыб из акваторий с высоким уровнем антропогенной нагрузки, свидетельствуют об угнетении функционального состояния иммунной системы.

Сходный с таковыми иммунологических показателей характер изменчивости нами установлен при изучении липидного обмена. Об этом свидетельствуют данные содержания ОЛ и отдельных фракций липидов в сыворотке крови. Выявленные различия носили разнонаправленный характер. Величины ОЛ, ХЛ, НЭЖК в сыворотке крови леща из оз. Неро и на станции Торово, достоверно превышали, а показатели ФЛ, ТАГ, У были ниже, чем у рыб из Волжского плеса.

Известно, что липиды в организме рыб участвуют не только в энергетическом, пластическом, генеративном обмене, реализации процессов роста, развития и адаптации, но и осуществляют целый ряд важнейших жизненных функций – гидростатической, теплоизолирующей, механической, иммунологической и др. В ряде исследований также показано, что показатели липидного обмена, в частности фракционный состав липидов тканей, являются надежным диагностическим тестом, отражающим последствия воздействия разнообразных неблагоприятных факторов на состоя-

ние здоровья рыб [20-23]. У рыб под воздействием различных стресс-факторов, в том числе токсикологических, нарушаются темпы и направление липидного обмена, изменяется соотношение между процессами липолиза и липогенеза, что в конечном итоге отражается на уровне содержания липидов и их качественном составе [21,23], а также на функциональном состоянии гуморальных факторов иммунитета [8,22,24].

Высокий уровень общих липидов в сыворотке крови свидетельствует о токсикантиндуцируемой интенсификации процессов липолиза. Повышение содержания липидов в тканях рыб ранее установлено у особей, обитающих в водоемах с повышенной антропогенной нагрузкой и в опытных условиях [8,25-27].

Повышенная доля НЭЖК (неэстерифицированных жирных кислот) и холестерина, принимающих участие в возникновении целого ряда патологических состояний, характеризует серьезные нарушения липидного обмена [21,28]. Уменьшением доли фосфолипидов, может быть связан с нарушением синтеза или поступления в организм рыб липотропных веществ (холин, метионин и др.). Известно, что при их дефиците значительно снижается синтез фосфолипидов из нейтрального жира (глицерина, жирных кислот). Недостаток запасных энергетических липидов – триацилглицеринов в сыворотке леща рыб свидетельствует

об общем истощении организма. Пониженный уровень триацилглицеринов может быть связан с более интенсивным использованием на энергетические нужды и для поддержания основного обмена веществ рыб. Фосфолипиды и холестерин – основные компоненты биологической мембраны, и их количественное изменение приводит к изменению свойств биомембран (проницаемости, степени устойчивости, микровязкости и др.). Повышение уровня холестерина отражает степень стрессированности организма. Полученные в настоящем исследовании результаты согласуются с данными ряда авторов, показавшими, что в системе липидного метаболизма наблюдаются отклонения от нормы при воздействии стрессорных факторов биотической и абиотической природы [21,26-28].

Содержание МДА и скорость КОС в сыворотке крови леща, отловленного из оз. Неро и на станции Торово, свидетельствуют о высоком уровне липидоперекислительных процессов и резком снижении уровня антиоксидантных структур. Неконтролируемому нарастанию продуктов перекисидации липидов при воздействии стресс-факторов, как известно, препятствует многоуровневая система антиоксидантной защиты, состоящая из антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, глутатион-S-трансфераза) и низкомолекулярных антиоксидантных соединений (восстановленного глутатиона, β -токоферола, фенольной формы коэнзима Q_{10} , β -каротина, аскорбиновой кислоты и др.) [29,30]. Антиоксидантной системе принадлежит важная роль в нейтрализации молекулярных механизмов окислительного стрес-

са, инициирующих активацию перекисеобразовательных процессов, и реализации адаптивных компенсаторных реакций в организме, поскольку компоненты этой системы участвуют в регуляции метаболических функций. Интенсификация процессов перекисления липидов и пониженное содержание уровня антиоксидантов характерно для рыб, испытывающих состояние окислительно-восстановительного баланса в системе ПОЛ ↔ АЗ обнаружены в популяциях рыб, обитающих в загрязненных морских и пресноводных акваториях [9,11,24,25,31].

Закключение. Лещ, обитающий в акваториях с разным уровнем антропогенного загрязнения различался по функциональному состоянию гуморальных факторов иммунитета, долям ИМД особей, уровню общих липидов и их фракционному составу и состоянию окислительно-восстановительного баланса. На фоне низких показателей антимикробных свойств сыворотки крови у рыб, обитающих в оз. Неро и на станции Торово, отмечено характерное для токсикантиндуцируемого стресса повышенное содержание продуктов ПОЛ и снижение общей антиокислительной активности тканей. Поллютанты, поступающие в оз. Неро и в районе г. Череповца – причина нарушения иммунобиохимического статуса рыб, проявляющегося активацией окислительных процессов и снижением адаптационного потенциала рыб. Установленные модификации в функционировании иммунофизиологических механизмов гомеостаза рыб из антропогенно-загрязненной акватории следует рассматривать как типичную реакцию рыб на загрязняющие вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука; 2008.
2. Проект «Волга» в г. Череповце. Нижний Новгород: Экологический центр «Дронт»; 1996.
3. Флеров Б.А. Экологическая обстановка на Рыбинском водохранилище в результате аварии на очистных сооружениях г. Череповца в 1987 г. В кн.: Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск; 1990: 3–11.
4. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ; 2001.
5. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука; 2009.
6. Флеров Б.А., Микряков В.Р., Куперман Б.И. Инвазионные и инфекционные процессы у рыб при токсическом воздействии. В кн.: Гельминты в пресноводных биоценозах. М.: Наука; 1982: 58–67.
7. Володин В.М. Состояние воспроизводительной системы и плодовитость рыб в Северо-Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища. В кн.: Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск; 1990: 101–122.
8. Микряков В.Р., Андреева А.М., Лапирова Т.Б., Силкина Н.И. Реакция иммунной системы рыб Шекснинского плеса после аварии на промышленных предприятиях г. Череповца. В кн.: Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск; 1990: 144–155.
9. Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А. и др. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука; 2001.
10. Грубинко В.В., Леус Ю.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор). Гидробиол. журн. 2001; 37 (1): 64–78.
11. Руднева И.И., Шевченко Н.Ф., Залевская И.Н., Жерко Н.В. Биомониторинг прибрежных вод Черного моря. Вод. ресурсы. 2005; 32 (2): 238–246.
12. Rudneva I.I., Kuzminova N.S. Effect of chronic pollution on hepatic antioxidant system of Black Sea fish species. Int. J. Sci. Nature. 2011; 2 (2): 279–286.
13. Tkachenko H., Kurrhaluk N., Grudniewska J. Oxidative stress biomarkers in different of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to Disinfectant-CIP formulated with peracetic acid and hydrogen peroxide. Arch. Pol. Fish. 2014; 22: 207–212.
14. Скулачев В.П. Новые сведения о биохимическом механизме запрограммированного старения организма и антиоксидантной защите митохондрий. Биохимия. 2009; 74 (12): 1718–1721.
15. Микряков В.Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН; 1991.
16. Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 1957; 2(3): 497–509.
17. Кейтс М. Техника липидологии. М.: Наука; 1972.
18. Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой. Лаб. дело. 1988; 11: 4143.
19. Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала. Укр. биохим. журн. 1985; 57(3): 50–52.
20. Лалин В.И., Шатуновский М.И. Особенности состава, физиологическое и экологическое значение липидов рыб. Усп. соврем. биол. 1981; 1: 380–394.
21. Сидоров В.С. Экологическая биохимия. Липиды. Л.: Наука; 1983.
22. Силкина Н.И. Липидный состав сыворотки крови иммунодефицитных и иммунореактивных лещей. Биология внутр. вод. 1987; 78: 48–51.
23. Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука; 2007.
24. Микряков В.Р., Силкина Н.И., Микряков Д.В. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря. Биол. моря. 2011; 37 (2): 142–148.
25. Силкина Н.И., Микряков Д.В.,

Микряков В.Р. Влияние антропогенного загрязнения на окислительные процессы в печени рыб Рыбинского водохранилища. Экология. 2012; (5): 361–365.
 26. Dwyer K.S., Parrish C.C., Brown J.A. Lipid composition of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) in relation to dietary lipid intake. Marine Biology.

2003; 143: 659–667.
 27. Wille K., McLeam E., Goddard J.S., Byatt J.C. Dietari lipid level and growth hormone alter growth and body conformation of blue tilapia, *Oreochromis aureus*. Aquaculture. 2002; 209: 219–232.
 28. Зенков Н.К., Меньшикова Е.Б., Ткачев В.О. Некоторые принципы и механизмы редокс-регуляции. Кислород и антиоксиданты. 2009; 1: 3–64.

29. Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З., Бондарь И.А., Труфакин В.А. Окислительный стресс: Патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА; 2008.
 30. Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals. Comp. Biochem. and Physiol. 1991; 100 (1–2): 173–176.

31. Moseley R., Hilton J.R. Waddington, R.J., Harding, K.G., Stephens, P. Thomas D.W. Comparison of oxidative stress biomarker profiles between acute and chronic wound environments. Wound Repair Regen. 2004; 12 (4): 419–429.

REFERENCES:

- The state of the ecosystem of lake Nero in the beginning of the XXI century. Moscow: Nauka; 20(in Russian)
- The Volga Project in the City of Cherepovets, Nizhni Novgorod: Ekol. Tsentr Dront; 19(in Russian)
- Flerov B.A. Ecological Situation in the Rybinsk Reservoir after the 1987 Accident at Water Treatment Facilities in the City of Cherepovets. In: Impact of Effluents from the Cherepovets Industrial Center on the Ecological State of Rybinsk Reservoir. Rybinsk; 1990: 3–(in Russian)
- Ecological Problems in the Upper Volga Region, Yaroslavl: YaGTU; 20(in Russian)
- Moiseenko T.I. Aquatic Ecotoxicology: Theoretical and Applied Aspects. Moscow: Nauka; 20(in Russian)
- Flerov B.A., Mikryakov V.R., Kuperman B.I. Invasion and Infection Processes in Fishes Exposed to Toxic Impacts, in Helminths in Freshwater Biocenoses. Moscow: Nauka; 1982: 58–(in Russian)
- Volodin V.M. The State of Reproductive System and Fecundity of Fishes from the Northern Sheksna Pool of the Rybinsk Reservoir. In: Impact of Effluents from the Cherepovets Industrial Center on the Ecological State of Rybinsk Reservoir. Rybinsk; 1990: 101–1
- Mikryakov V.R., Andreeva A.M., Lapirova T.B., Silkina N.I. Immune System Responses in Fishes from the Sheksna Pool after an Industrial Accident in the City of Cherepovets. In: Impact of Effluents from the Cherepovets Industrial Center on the Ecological State of Rybinsk Reservoir. Rybinsk; 1990: 144–1(in Russian)
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zabolotkina E.A. et al. Responses of the Fish Immune System to Water Pollution with Toxic Agents and Acidification. Moscow: Nauka; 20(in Russian)
- Grubinko V.V., Leus Yu.V. Lipid Peroxidation and Antioxidant Defense in Fishes: A Review. *Gidrobiol. Zh.* 2001; 37 (1): 64–(in Russian)
- Rudneva I.I., Shevchenko N.F., Zalevskaya I.N., Zherko, N.V. Biomonitoring of coastal waters of the Black Sea, *Vod. Resursy.* 2005; 32 (2): 238–2(in Russian)
- Rudneva I.I., Kuzminova N.S. Effect of chronic pollution on hepatic antioxidant system of Black Sea fish species. *Int. J. Sci. Nature.* 2011; 2 (2): 279–286.
- Tkachenko H., Kurhaluk N., Grudniewska J. Oxidative stress biomarkers in different of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to Disinfectant-CIP formulated with peracetic acid and hydrogen peroxide. *Arch. Pol. Fish.* 2014; 22: 207–212.
- Skulachev V.P. New Data on Biochemical Mechanism of Programmed Senescence of Organisms and Antioxidant Defense of Mitochondria. *Biochemistry (Moscow).* 2009; 74 (12): 1718–17(in Russian)
- Mikryakov V.R. Regularities of Formation of Acquired Immunity in Fishes. Rybinsk: IBIW RAN; 19(in Russian)
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*; 1957: 2(3): 497–509.
- Cates M. *Techniques of Lipidology.* Amsterdam: North_Holland Publishing Co.; 1972.
- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A. Modification of methods for determining lipid peroxides in the thiobarbituric acid test. *Laboratory Practice.* 1988; (11): 41 - (in Russian)
- Semenov V.L., Yarosh A.M. Method for determination of antioxidant activity of biological material. *Ukr. biokhim. zhurn.* 1985; 57 (3): 50 - (in Russian)
- Lapin V.I., Shatunovskii M.I. Fish Lipids: Specific Features of Composition, Physiological and Ecological Significance. *Usp. Sovrem. Biol.* 1981; 1: 380–3(in Russian)
- Sidorov V.S. Ecological Biochemistry. Lipids. Leningrad: Nauka; 19(in Russian)
- Silkina N.I. Lipid Composition of Blood Serum in Immunodeficient and Immunoreactive Bream Individuals. *Biol. Vnutr. Vod.* 1987; 78: 48–(in Russian)
- Smirnov L.P., Bogdan V.V. Lipids in Physiological–Biochemical Adaptations of Ectothermal Organisms to Abiotic and Biotic Environmental Factors, Moscow: Nauka; 20(in Russian)
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V. Effect of Anthropogenic Pollution on the Immunological and Biochemical Mechanisms of Maintaining Homeostasis in Fish of the Black Sea. *Russian Journal of Marine Biology.* 2011; 37 (2): 151–157.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R. Effect of Anthropogenic Pollution on Oxidative Processes in the Liver of Fish from the Rybinsk Reservoir. *Russian Journal of Ecology.* 2012; 43 (6): 386–389.
- Dwyer K.S., Parrish C.C., Brown J.A. Lipid composition of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) in relation to dietary lipid intake. *Marine Biology.* 2003; 143: 659–667.
- Wille K., McLeam E., Goddard J.S., Byatt J.C. Dietari lipid level and growth hormone alter growth and body conformation of blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *Aquaculture.* 2002; 209: 219–232.
- Zenkov N.K., Mеньшикова Е.Б., Ткачев В.О. Some of the principles and mechanisms of redox regulation. *Oxygen and antioxidants* 2009; 1: 3–(in Russian)
- Mеньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Ланкин В.З., Бондарь И.А., Труфакин В.А. Oxidative Stress: Pathological Conditions and Diseases. *Novosibirsk: ARTA;* 20(in Russian)
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1991; 100 (1–2): 173–176.
- Moseley R., Hilton J.R. Waddington, R.J., Harding, K.G., Stephens, P. Thomas D.W. Comparison of oxidative stress biomarker profiles between acute and chronic wound environments. *Wound Repair Regen.* 2004; 12 (4): 419–429.

N.I. Silkina, V.R. Mikryakov

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC POLLUTION ON SOME INDICATORS OF CONGENITAL IMMUNITY AND OXIDIZING PROCESSES IN BREAM *ABRAMIS BRAMA* INHABITING LAKE NERO AND THE RYBINSK RESERVOIR

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, 152742 Settlement Borok, Yaroslavl region, Russian Federation

The results of a comparative analysis of some blood serum immune-biochemical indices of bream that inhabits lake Nero and the Rybinsk Reservoir are reported. The following indices were investigated: anti-microbial properties: proportion of immune-deficient animals, common lipids level and their fractional composition, content of malondialdehyde and antioxidant activity. Unlike fishes from relatively clean waters, fishes from ecologically unfavorable areas show low immune status, alterations in lipid metabolism and increased free radical oxidation.

Keywords: Lake Nero, the Rybinsk reservoir, bream, immunity, lipids, oxidation processes.

Материал поступил в редакцию 25.10.2016 г.

